

# 可攜式核磁共振造影簡介

詹智全

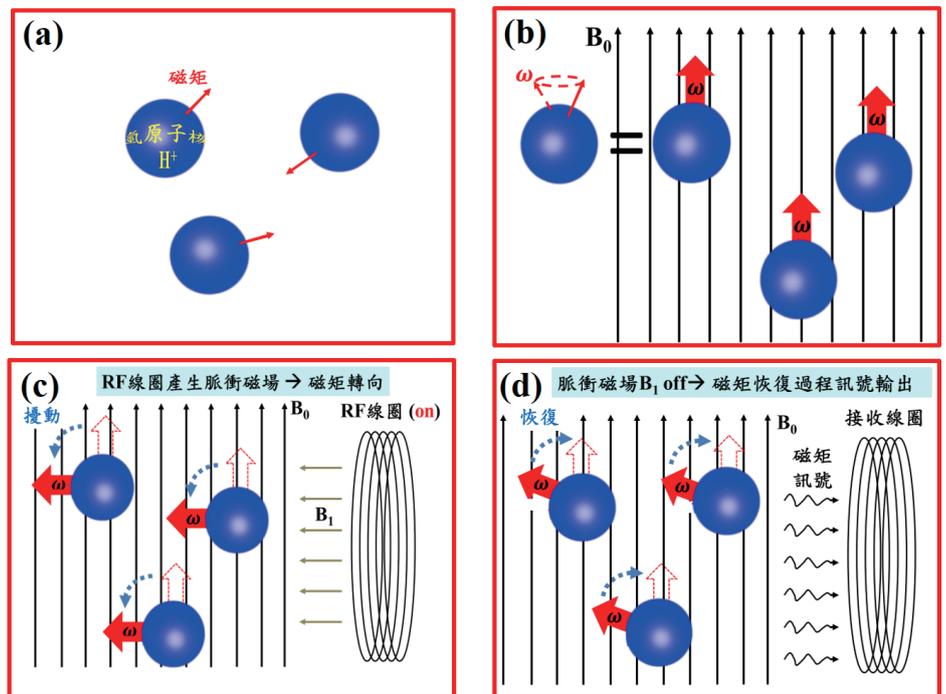
國家同步輻射研究中心 磁鐵小組

核磁共振造影或稱磁振造影 (Magnetic Resonance Imaging, MRI) 是一種大型且昂貴的醫學影像檢查設備，MRI 具有非侵入性、優異的軟組織鑑別率、無輻射劑量產生與無任何副作用等優點，而傳統 MRI 的缺點為設備昂貴、機體笨重無法移動、漏磁範圍廣與需要寬闊的操作空間等。隨著科技進步與創新，當輕量化的可攜式 MRI 被研發出來後，其低廉的建置成本與可攜便利，意味著未來 MRI 可能如同 X 光機一樣普及，提升大眾醫療品質水平。本文將介紹核磁共振原理與可攜式 MRI 未來發展方向。

人體組成中水約佔 70%，而水是由氧與氫兩種元素組成，因此探究人體內氫元素的特徵，有助於了解人體內的器官組織狀態，MRI 即是利用探測氫元素的核磁共振訊號並將其影像化，作為重要的醫療診斷依據。水在人體不同組織的差異極小，MRI 需要在待檢組織周圍產生非常均勻的磁場，磁場不均勻度  $< 1 \text{ ppm}$  ( $< 0.0001\%$ )，相較於一般加速器用的磁鐵磁場均勻度約為 0.05%，可知 MRI 技術對磁場均勻度要求非常高。核磁共振原理簡述如圖一：

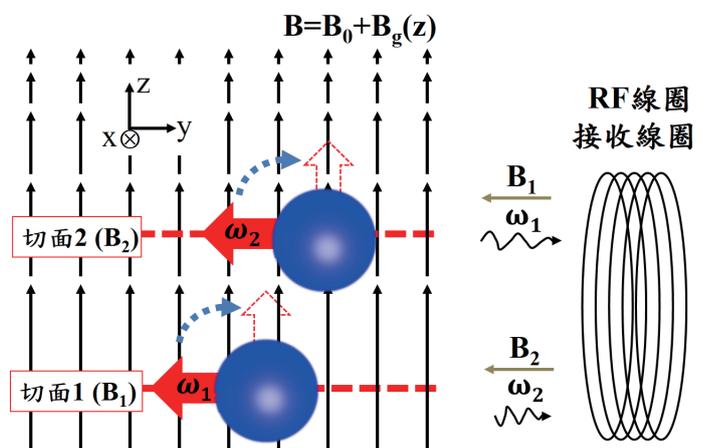
使氫原子磁矩轉向，不同狀態的氫原子受擾動程度亦不相同，如圖一 (c) 示。

(4) 當脈衝干擾  $B_1$  結束時，氫原子核慢慢恢復原始狀態，如圖一 (d) 示。恢復過程中磁矩變化的訊號經由接收線圈感應後傳出，如圖一 (d) 示，因各種不同組織的氫磁矩回復時間與行為不同，因此可分析診斷組織的狀態。



圖一 核磁共振原理。

- (1) 氫原子核的自旋為  $1/2$ ，可看成是小磁鐵，平時體內氫原子核的磁矩方向是任意分布，淨磁矩為零，如圖一 (a) 示。
- (2) 若提供外加磁場  $B_0$ ，氫原子核自旋會順著外加磁場方向產生進動，就像陀螺自轉又繞著地面公轉，公轉的頻率稱為拉莫爾頻率 (Larmor Frequency,  $\omega$ )。淨磁矩方向順著磁場方向排列，如圖一 (b) 示。根據拉莫爾進動關係式： $\omega = -\gamma B_0$ ，其中  $\gamma$  為磁旋比，例如將氫原子核放在 1 T 磁場強度下，則氫原子核的磁矩轉動頻率  $\omega$  為 42.58 MHz，即磁場越大，公轉越快。
- (3) 為了區分出組織間氫原子的差異，利用射頻線圈 (RF coil) 產生脈衝磁場  $B_1$ ，從垂直於  $B_0$  磁場方向對排列整齊的氫原子磁矩產生瞬間擾動，因而



圖二 核磁共振斷層掃描原理。

為了讓 MRI 具有斷層掃描的功能，則需在  $B_0$  方向額外加入梯度磁場  $B_g(z)$ ，如圖二示，磁場  $B_g$  沿  $z$  方向線性連續變化，但在  $xy$  平面仍須保持磁場均勻，此時沿  $z$  方向每個  $xy$  切面的磁場強度為  $B=B_0+B_g(z)$ ，根據拉莫爾進動公式可知，每個  $xy$  切面的  $\omega(z)$  皆不相同，因此可得到不同切面的訊號。

綜觀上述原理說明，MRI 的主要硬體為主磁鐵 ( $B_0$ )、射頻線圈 ( $B_1$ ) 與梯度線圈 ( $B_g$ )，為了達到強磁場且磁場均勻的目標，目前傳統 MRI (1.5 - 3 T) 幾乎是使用超導線圈產生磁場，但超導線圈必須在極低溫下才能使用，因此目前市售的傳統 MRI 體積都相當龐大，不便於移動，而且建置與維護都需投入大量成本。

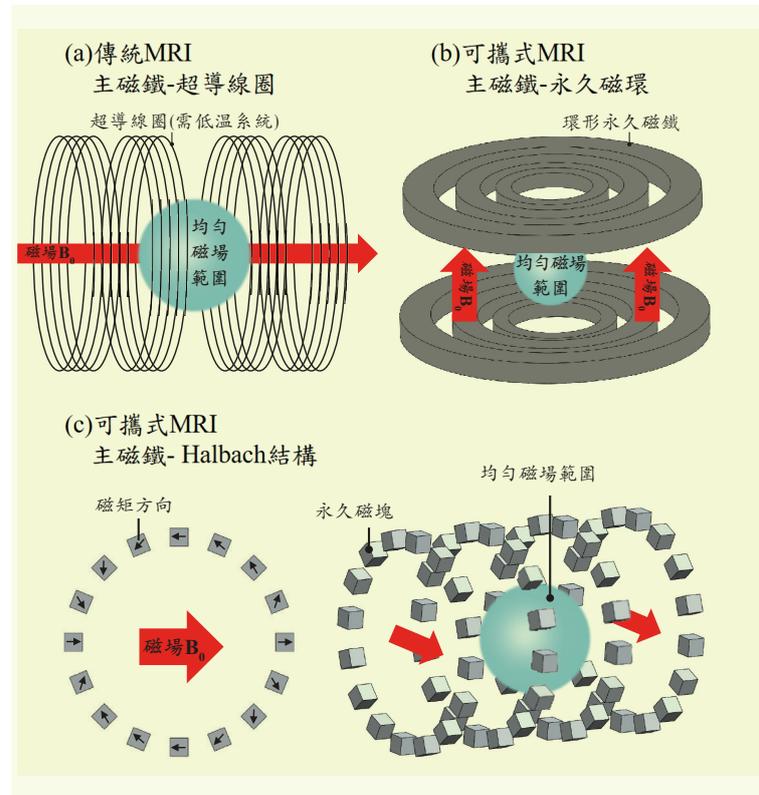
最近全球第一台經美國食品藥物管理局 (FDA) 核准的可攜式 MRI 問世，其使用環狀永久磁鐵產生 0.064 T 的低磁場  $B_0$ ，此設計使可攜式 MRI 具有移動性高，檢查前準備時間短、建置維護成本低與設備周遭環境安全的優點 [1]。傳統 MRI 與可攜式 MRI 的特性比較如表一。由於可攜式 MRI 採用低磁場設計，大幅減小設備尺寸與重量，便於移動到患者身旁，因此可攜式 MRI 很適合急診或診間內診斷。近期一些文獻發表可攜式 MRI 的臨床診斷結果 [2]，對缺血性中風、出血性中風、蛛網膜下腔出血、創傷性腦損傷、腦腫瘤和 COVID-19 等 50 位患者進行影像醫學診斷，其中 30 位非 COVID-19 的患者，有 29 位被可攜式 MRI 診斷出神經影像異常，準確率高達 97%，而在另外 20 位 COVID-19 患者中，則有 8 位 (40%) 被檢出異常，因此證明了低磁場可攜式 MRI 做為第一線醫療設備的可行性。

表一 傳統 MRI 與可攜式 MRI 特性比較。

	傳統 MRI	可攜式 MRI
尺寸	龐大 (漏磁範圍大)	如小冰箱 (漏磁範圍小)
重量	重	輕
磁場	1.5-3 T (超導技術)	<<1 T (永磁技術)
解析度	高	低
建置成本	高	低
部位	無特別限制	腦 / 四肢 / 孩童
其他	需液氦冷卻 (zero-boil off) 強磁場，對周遭環境 安全性要求高	一般市電 (15 A/110 V)， 隨插即用，能耗低

要達到可攜式 MRI 的便利性，磁鐵輕量化是必然的條件之一，因此如何輕量化主磁鐵並保持磁場均勻是研製可攜式 MRI 的重要課題，近期除了使用永久磁環所組成的主磁鐵，不均勻度可達 250 - 500 ppm (直徑 20 cm 球形範圍

內)。此外亦有使用海爾貝克 (Halbach) 結構所組成的主磁鐵，磁場強度為 0.08 T，磁鐵重量為 122 公斤，解析度可達  $2.2 \times 1.3 \times 6.8 \text{ mm}^3$  [3]，圖三為傳統超導磁鐵、輕量化永久磁環磁鐵與輕量化 Halbach 結構永久磁鐵的示意圖。



圖三 傳統超導 MRI 與輕量化 MRI 的主磁鐵示意圖。

總結上述，可攜式 MRI 的研發與推廣，並非取代傳統 MRI 而是降低某些規格參數，例如：降低磁場強度與磁場均勻性，達到輕量與增加移動性，大幅降低成本，符合第一線臨床輔助診斷需求，相信未來會有更多的研發與創新投入輕巧的磁鐵系統與相關技術。國輻中心過去曾研發過磁場不均勻度優於 200 ppm 的永久磁鐵，具有大型磁鐵設計、製造組裝與量測能力，結合二十年所累積的經驗，目前正攜手國衛院與工研院，積極爭取政府科專計畫，期望未來能為可攜式 MRI 普及化盡一份心力。

### 參考文獻

1. <https://hyperfine.io/>
2. K. N. Sheth, M. H. Mazurek, M. M. Yuen, B. A. Cahn, J. T. Shah, A. Ward, J. A. Kim, E. J. Gilmore, G. J. Falcone, N. Petersen, K. T. Gobesk, F. Kaddouh, D. Y. Hwang, J. Schindler, L. Sansing, C. Matouk, J. Rothberg, G. Sze, J. Siner, M. S. Rosen, S. Spudich, W. T. Kimberly, JAMA Neurol. 1, 78, 41 (2021).
3. C. Z. Cooley, P. C. McDaniel, J. P. Stockmann, S. A. Srinivas, S. F. Cauley, M. Śliwiak, C. R. Sappo, C. F. Vaughn, B. Guerin, M. S. Rosen, M. H. Lev, Lawrence L. Wald, Nat. Biomed. Eng. 5, 229 (2021).